



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

● **Offenlegungsschrift** ●

⑩ **DE 197 50 179 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁶
H 04 R 17/00
H 04 R 7/04
H 04 R 1/02
H 01 L 41/08
B 06 B 1/06

②1 Aktenzeichen: 197 50 179.6
②2 Anmeldetag: 13. 11. 97
④3 Offenlegungstag: 25. 2. 99

DE 197 50 179 A 1

⑥6 Innere Priorität:
197 36 808. 5 23. 08. 97

⑦1 Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung eV, 80636 München, DE

⑦4 Vertreter:
Rechts- und Patentanwälte Reble & Klose, 68165
Mannheim

⑦2 Erfinder:
Hahn-Jose, Thomas, Dipl.-Ing., 66386 St Ingbert,
DE

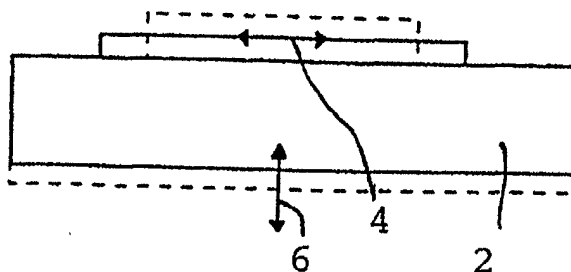
⑤8 Entgegenhaltungen:
DE 43 30 747 C1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Schallwandler

⑤7 Ein Schallwandler, insbesondere Luftschallwandler, enthält eine piezokeramische Scheibe. Dieser soll dahingehend weitergebildet werden, daß eine verbesserte effiziente Wandlung elektromagnetische Wellen in mechanische Wellen, oder umgekehrt, realisierbar ist. Hierzu wird vorgeschlagen, daß ein Verbund aus einer piezokeramischen Scheibe und einer Membrane vorgesehen ist, welche als ein monomorpher Biegeschwinger ausgebildet ist. Die Membrane besteht aus einem Epoxyd-Hohlglas-kugel-Gemisch oder einem hinsichtlich der schalttechnischen Eigenschaften vergleichbaren Werkstoff, wobei der planare Schwingungsmodus in der Piezokeramik mittels des Querkontraktionsverhältnisses in eine Dickenschwingung umgesetzt wird, welche nach der Transformation durch eine Koppelschicht niedriger akustische Impedanz an das Ausbreitungsmedium, insbesondere Luft, angepaßt wird.



DE 197 50 179 A 1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf einen Schallwandler gemäß den im Oberbegriff des Patentanspruchs angegebenen Merkmalen.

Schallwandler, insbesondere Luftschallwandler dienen zur Wandlung elektromagnetischer Wellen in mechanische Wellen oder umgekehrt, wobei auf der Oberfläche des Schallwandlers bzw. Ultraschall-Wandlers möglichst große Teilchenverschiebungen mit schnellen Anstiegszeiten angestrebt werden. Bekanntlich basiert die Ultraschalltechnik auf akustischen, also mechanischen Wellen, wobei sich eine derartige Welle aus Schwingungen der einzelnen Stoffteilchen im Ausbreitungsmedium aufbaut. In Fluiden, also Gasen und Flüssigkeiten, treten keine Transversalwellen auf, so daß insoweit nur die Longitudinal- oder Dichtewellen von Interesse sind. Die Intensität I einer solchen Welle ergibt sich nach der Formel:

$$I = 0,5 \times Z \omega^2 \xi^2$$

Hierin bedeutet Z die akustische Impedanz des Ausbreitungsmediums (Produkt aus Dichte und Schallgeschwindigkeit), ω die Teilchenfrequenz und ξ die Teilchenauslenkung. Ferner besteht für Dichtewellen der Zusammenhang:

$$Z = p/c$$

mit der akustischen Impedanz Z , der Schallgeschwindigkeit c und dem Schalldruck p . Ausgehend von dem Ausbreitungsmedium Luft ($Z = 0,430 \text{ MRayl}$) wird ersichtlich, daß die Amplitude der Teilchenauslenkung im Vergleich zu deren Kraft intensitätsbestimmend ist.

Für die Konvertierung elektrischer in mechanische Energie unter der Randbedingung der Schallabstrahlung in Gasen sind unterschiedliche Prinzipien bekannt. So besteht ein Dickenschwinger aus einer piezoelektrischen Keramik in Form eines Zylinders oder einer Scheibe. Diese schwingt kolbenartig in ihrer Dicke, wobei die Dicke als geometrischer Faktor die Resonanzfrequenz bestimmt. Durch Variation des Durchmessers ist es möglich, die räumliche Verteilung des nach vorne austretenden Schallfeldes zu beeinflussen.

Häufig werden diese Schwinger frontseitig mit akustisch optimierten $\lambda/4$ -Schichten versehen bzw. rückseitig durch geeignete Materialien bedämpft, um ein besseres zeitliches Übertragungsverhalten zu erreichen. Vorteilhaft bei dieser Technik ist vor allem die hohe erreichbare Übertragungsbandbreite (mechanische Güte < 10). Problematisch ist die bei niedrigen Frequenzen notwendige Dicke der Piezokeramiken, die einen hohen elektrischen Quell- bzw. Lastwiderstand bewirken.

Ferner sind Biegeschwinger bekannt, welche sich durch eine Sandwichstruktur auszeichnen, wobei zum einen monomorphe Biegeschwinger und zum anderen bimorphe Biegeschwinger unterschieden werden. Der monomorphe Biegeschwinger besteht aus einer Membrane (meist Metall), auf die die Piezokeramik aufgebracht ist. Die Keramik ist kleiner als der Membranedurchmesser. Da die Keramik in einer planaren Resonanz betrieben wird, beeinflusst sie die Resonanzfrequenz durch ihren Radius. Dadurch kann die Dicke der Keramik sehr dünn, und der elektrische Quellwiderstand gering sein. Die Resonanzfrequenz bestimmt sich aus der Geometrie der einzelnen Komponenten und der gegenseitigen Verklebung. Die Wandler sind sehr kostengünstig, sehr effizient, klein, jedoch äußerst schmalbandig (relative 6 dB P/E-Bandbreite $< 3\%$). Bei der zusätzlichen Bedämpfung solcher Schwinger sinkt die Effizienz extrem stark ab. Hin-

gegen besteht der bimorphe Biegeschwinger aus zwei gegensätzlich polarisierten, miteinander verbundenen PZT-Platten. Die sehr effizienten Wandler sind schwer bei Frequenzen über 80 kHz betreiben und relativ kostenaufwendig.

Schließlich sind elektrostatisch betriebene Wandler bekannt, bei welchen die Auslenkung einer Membrane durch elektrostatische Kräfte erzeugt wird. Derartige Wandler reagieren sehr empfindlich auf Änderungen der Umgebungsparmeter, wie Temperatur und Feuchte, und sind relativ teuer.

Gemäß den erläuterten Standard-Techniken können zum einen sehr schmalbandige und effektive Luftschallwandler und zum anderen breitbandige, aber recht unempfindliche Luftschallwandler realisiert werden.

Hiervon ausgehend liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen Schallwandler, insbesondere Luftschallwandler vorzuschlagen, mit welchem eine verbesserte effiziente Wandlung elektromagnetischer Wellen in mechanische Wellen, oder umgekehrt, realisierbar ist. Der Schallwandler soll bei einfacher Konstruktion eine hohe Funktionssicherheit aufweisen und einen niedrigen Fertigungsaufwand erfordern. Es soll ein breitbandiger Luftschallwandler geschaffen werden, welcher eine verbesserte Empfindlichkeit aufweist.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt gemäß den im Patentanspruch 1 angegebenen Merkmalen.

Der erfindungsgemäße Schallwandler vereinigt in besonders zweckmäßiger Weise zwei Schwingerprinzipien. Es ist ein Verbund aus piezokeramischer Scheibe und einer Membran, vorzugsweise aus einem Epoxyd-Hohlglaskugel-Gemisch oder einem schalltechnisch vergleichbaren Werkstoff vorgesehen, welcher einen monomorphen Biegeschwinger bildet. Die Membrane ist in bevorzugter Weise Teil eines Wandlergehäuses. Ferner wird der planare Schwingungsmodus in der Piezokeramik mittels des Querkontraktionsverhältnisses in eine Dickenschwingung umgesetzt, welche nach der Transformation durch eine Koppelschicht, welche eine niedrige akustische Impedanz aufweist, an das Ausbreitungsmedium, vorzugsweise Luft, angepaßt wird. Weiterbildungen und besondere Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen sowie der weiteren Beschreibung angegeben.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 schematisch die Konversion von radialer Schwingung in eine Dickenschwingung,

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Biegeschwingung,

Fig. 3 eine Darstellung der Kopplung der Resonanzen,

Fig. 4 beispielhaft ein Diagramm eines Echsignals.

In Fig. 1 ist schematisch eine seitliche Ansicht einer Piezokeramik 2 dargestellt, deren planarer Schwingungsmodus gemäß Pfeilen 4 durch das Querkontraktionsverhältnis gemäß Doppelpfeil 6 in eine Dickenschwingung umgesetzt wird.

Fig. 2 zeigt schematisch eine Membran 8 mit aufgesetzter Piezokeramik 10.

Anhand von Fig. 3 wird erläutert, daß die gewünschte Übertragungsbandbreite erfindungsgemäß dadurch erreicht wird, daß die Mittenfrequenz der beschriebenen Resonanzfrequenzen f_2 und f_3 gegeneinander verschoben werden. Hierdurch wird eine kritische Kopplung der Resonanzen in besonders zweckmäßiger Weise erzwungen. Im vorliegenden Fall wird die Dickenresonanz f_2 der Dickenschwingung der Piezokeramik unterhalb der Biegeschwingung f_3 der Membran gelegt. Die Membrane besteht erfindungsgemäß aus einem Epoxyd-Glashohlkugelmisch oder einem schalltechnisch vergleichbaren Werkstoff. Durch dieses, bezogen auf die Gesamtnutzfrequenz asymmetrische, zu höhe-

ren Frequenzen verschobene Spektrum wird erfindungsge-
 gemäß ein schnelles Einschwingen des Wandlers erreicht. Die
 Membran-Mittenfrequenz f_3 ist um einen vorgegebenen
 Faktor größer als die Mittenfrequenz f_2 der Dickenschwin-
 gung der Piezokeramik. Dieser Faktor liegt insbesondere im
 Bereich zwischen 1,05 bis 1,30, vorzugsweise im Bereich
 zwischen 1,0 bis 2,0.

Ausführungsbeispiel

Die Nutzresonanzen ergeben sich insbesondere wie folgt:

- Die Resonanz mit der Mittenfrequenz f_2 wird durch die Dickenschwingung der Piezokeramik erzeugt. Sie kann beispielsweise 143 kHz betragen.
- Die Resonanz der Mittenfrequenz f_3 der Membran wird durch die monomorphe Biegeschwingung bestimmt. Sie kann beispielsweise 160 kHz betragen.
- Die Resonanz mit der Mittenfrequenz f_1 wird bevorzugt durch die Gehäuseschwingung festgelegt. In zweckmäßiger Weise wird ein topfförmiges Gehäuse vorgesehen, wobei die Mittenfrequenz f_1 abhängig ist von der Topfgeometrie, insbesondere von der Dicke und Höhe der Gehäusewandung. In zweckmäßiger Weise werden kleine Gehäuseabmaße vorgegeben, wobei vor allem geringe Wanddicken des Topfes höhere Resonanzfrequenzen bedeuten. Die Mittenfrequenz f_1 liegt insbesondere bei 70 kHz.

Die Gehäuseresonanz ist recht schwer zu kontrollieren und liegt zweckmäßig niedriger als die Nutzfrequenz. Um sie bei der hier aus Platzgründen dünn vorgegebenen Gehäusewandung zu niedrigen Frequenzen, also aus dem Nutzfrequenzbereich, zu schieben, wird der Topf bevorzugt mit einer dämpfenden Masse dem sogenannten Backing gefüllt. Neben der Verschiebung der Gehäuseresonanz zu niedrigen Frequenzen erreicht man durch das Backing auch eine Bedämpfung der Dickenschwingung und Biegeschwingung und damit ebenfalls eine niedrigere Güte dieser Resonanz. Die Resonanz mit der Mittenfrequenz f_1 wird im Rahmen der Erfindung um einen vorgegebenen Faktor kleiner als die Mittenfrequenz f_3 der Membran gewählt. Dieser Faktor liegt insbesondere im Bereich zwischen 0,35 bis 0,7, vorzugsweise im Bereich zwischen 0,4 bis 0,6.

Zweckmäßige Auslegung

Der Durchmesser der Piezokeramik ergibt sich aus der Lage der Dickenschwingung f_2 . Bei 140 kHz beträgt der Durchmesser 11,7 mm. Die Membran-Dicke ergibt sich ebenfalls aus der Dickenresonanz f_2 . Sie entspricht der Viertelwellenlänge einer die Membrane durchquerende akustischen Welle. Es gilt somit $d = c/(4 \cdot f_2)$, und zwar mit der Membrandicke d , die der Schallgeschwindigkeit c in der Membrane und der Resonanzfrequenz f_2 .

Der Durchmesser der Membrane ergibt sich, kombiniert mit der Dicke der Piezokeramik, dem festgelegten Durchmesser der Piezokeramik, der Art der Klebung zwischen der Piezokeramik und der Membrane, den elastischen Materialparametern der Membrane sowie der festgelegten Dicke der Membrane aus der Resonanzfrequenz f_3 .

Hierbei gilt, daß die Resonanzfrequenz einer am Rand gefaßten Membrane definiert ist mit:

$$f = at/D^2,$$

und zwar mit der Resonanzfrequenz f , der Membrandicke t und dem Membrandurchmesser D . Der Proportionalitätsfak-

tor a ist abhängig von den oben beschriebenen Randbedingungen. Aufgrund der Vielzahl der Abhängigkeiten ist der Membrandurchmesser experimentell zu bestimmen. Hierbei wird in zweckmäßiger Weise die Keramikdicke als wesentlicher Faktor zum Erreichen einer höheren Membransteifigkeit ausgenutzt. So kann der Membrandurchmesser beispielsweise 12,2 mm betragen. Die Keramikdicke ergibt sich experimentell aus obigen Ausführungen. Sie beeinflusst auch das Verhältnis der Schwingungsschwingungsamplituden der Resonanzfrequenzen f_2 und f_3 . Die Membrandicke kann in einer zweckmäßigen Ausgestaltung zu 0,7 mm gewählt werden. Die mechanische Verbindung von Keramikscheibe und Membrane muß Scherkräfte übertragen können und wird im Rahmen der Erfindung am günstigsten durch eine dünne, harte Klebeschicht realisiert.

Fig. 4 zeigt ein Diagramm eines Echosignals des erfindungsgemäßen Wandlers. Das optimierte akustische Verhalten des Wandlers ergibt sich unmittelbar aus dem schnellen Einschwingverhalten gemäß der dargestellten Pulsform. Die erreichbare Übertragungsbandbreite (Puls/Echo, 3 dB) liegt bei etwa 31%. Die Pulslänge, und zwar für 10 bis 90% der Energie, beträgt näherungsweise 2,5 Perioden der Mittenfrequenz.

Patentansprüche

1. Schallwandler, insbesondere Luftschallwandler, enthaltend eine piezokeramische Scheibe, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Verbund aus einer piezokeramischen Scheibe und einer Membrane vorgesehen ist und ein monomorpher Biegeschwinger gebildet ist, wobei die Membrane aus einem Epoxyd-Hohlglaskugel-Gemisch oder einem hinsichtlich der schalltechnischen Eigenschaften vergleichbaren Werkstoff besteht, und daß der planare Schwingungsmodus in der Piezokeramik mittels des Querkontraktionsverhältnisses in eine Dickenschwingung umgesetzt wird, welche nach der Transformation durch eine Koppelschicht niedriger akustischer Impedanz an das Ausbreitungsmedium, insbesondere Luft, angepaßt wird.
2. Schallwandler, insbesondere nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittenfrequenzen f_2 und f_3 der Resonanzfrequenzen der piezokeramischen Scheibe und der Membran derart gegeneinander verschoben sind, daß eine kritische Kopplung der Resonanzen erzwungen wird.
3. Schallwandler nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittenfrequenz f_3 der Membrane um einen gegebenen Faktor größer ist als die Mittenfrequenz f_2 der piezokeramischen Scheibe, wobei dieser Faktor insbesondere im Bereich zwischen 1,05 bis 1,3, vorzugsweise im Bereich zwischen 1,0 bis 2,0 liegt.
4. Schallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittenfrequenz f_1 der Resonanz einer Gehäuseschwingung um einen vorgegebenen Faktor kleiner als die Mittenfrequenz f_2 der Piezokeramik, wobei dieser Faktor insbesondere im Bereich zwischen 0,35 bis 0,7, vorzugsweise im Bereich zwischen 0,4 bis 0,6 liegt.
5. Schallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Koppelschicht und/oder mechanische Verbindung der Piezokeramik und Membrane durch eine dünne, harte Klebeschicht ausgebildet ist.
6. Schallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Dickenresonanz der Piezokeramik auf die Gesamtnutzfrequenz des Wand-

lers gelegt ist und daß die Biegeschwingung f_3 der Membrane frequenzmäßig etwas oberhalb der Gesamtnutzfrequenz plaziert ist.

7. Schallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Membrane als Teil des Wandlergehäuses ausgebildet ist. 5

8. Schallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittenfrequenz f_2 der Dickenschwingung in der Größenordnung von 142 kHz liegt und die Mittenfrequenz f_3 , welche durch die monomorphe Biegeschwingung bestimmt ist, in der Größenordnung von 160 kHz vorgegeben ist. 10

9. Schallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuse topfförmig ausgebildet ist und mit einer dämpfenden Masse und/oder Backing gefüllt ist. 15

10. Schallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß im Dämpfergehäuse Dämpfungsmaterial vorgesehen ist, insbesondere aus Aluminiumoxyd und/oder Wolfram und/oder Polymer. 20

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Fig. 1

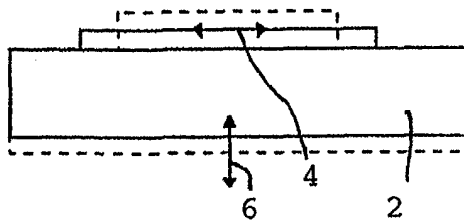
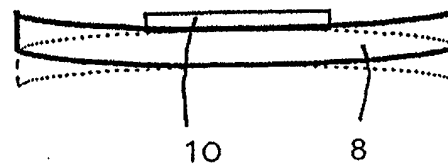


Fig. 2



Amplitude

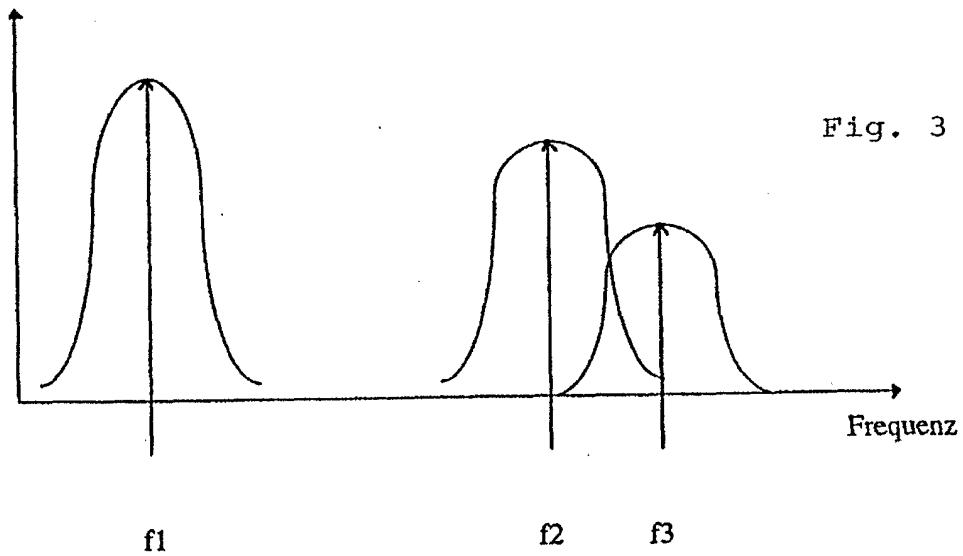
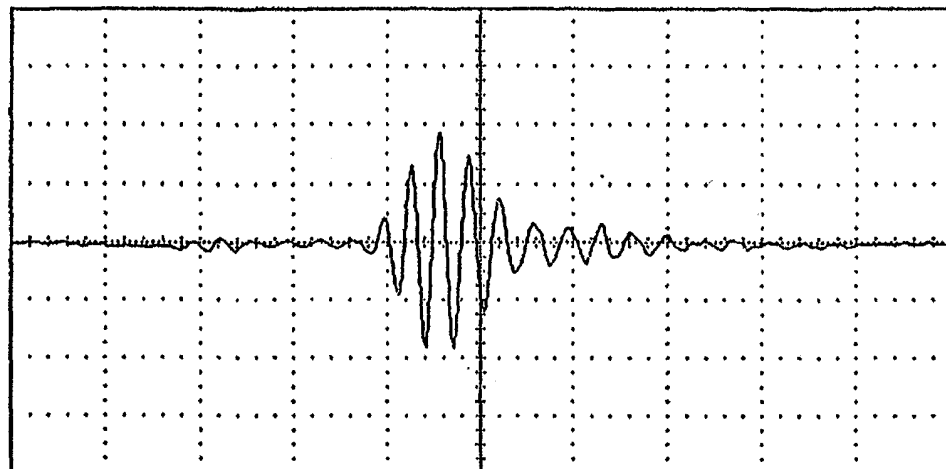


Fig. 3



408.000 us 508.000 us 608.000 us
 #Avg 10 20.0 us/div repetitive
 Vp-p current minimum maximum average
 (1) 73.1250mV 71.8750mV 74.3750mV 72.5962mV

Fig. 4